
La filtration des aérosols par des nontissés

Julien Payen, Philippe Vroman, Maryline Lewandowski, Anne Perwuelz

Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries Textiles (ENSAIT)

Laboratoire de Génie et Matériaux Textiles (GEMTEX)

2 allée Louise et Victor Champier, BP 30329, 59056 Roubaix Cedex 01, France

*Julien.payen@ensait.fr, philippe.vroman@ensait.fr, maryline.lewandowski@ensait.fr,
anne.perwuelz@ensait.fr*

Sections de rattachement : 33, 62

Secteur : Secondaire

RÉSUMÉ. La filtration de l'air s'impose à différents niveaux (masques, collectivités etc.) afin de protéger les personnes de polluants de nature particulaire. La filtration au moyen de médias fibreux non-tissés est la technique la plus répandue du fait de ses performances, de son faible coût et de sa versatilité (Thomas 2003). La théorie de la filtration met en évidence 3 mécanismes de capture des particules par les fibres plus ou moins actifs selon la granulométrie : la diffusion, l'interception et l'impaction. Ces effets sont fortement influencés par la structure filtrante notamment en termes de diamètre des fibres, compacité, épaisseur etc. (Bémer et al., 2006). Ils ont pour conséquence une amélioration de l'efficacité de filtration au détriment de la respirabilité.

L'ENSAIT conçoit et réalise des non-tissés par l'intermédiaire du CENT (Centre Européen des Non-Tissés) en sélectionnant des critères de choix pertinents afin de mesurer leurs impacts sur les propriétés de filtration. L'objectif à long terme sera double : développer un filtre avec le meilleur compromis entre efficacité et respirabilité, et modéliser la filtration à partir des paramètres de structure. Ce papier présente un éventail des technologies de fabrication des non-tissés utilisés dans la purification de l'air, ainsi que les bases de la théorie de la filtration. Nos principales actions de recherche sont brièvement exposées ainsi que nos premiers résultats.

MOTS-CLÉS : filtration de l'air, nontissés, médias fibreux, filtres à fibres

1. Introduction

L'accroissement de la population mondiale, l'industrialisation des pays émergents, l'augmentation du nombre de véhicules dans le parc automobile sont des facteurs aggravants de la pollution de l'air depuis quelques décennies. Même si la prise de conscience est réelle dans les pays industrialisés, il n'en reste pas moins que la

proportion de polluants dans la composition de l'atmosphère ne cesse d'augmenter. Ces particules provenant par exemple des moteurs diesels sont particulièrement nocives pour l'homme et sont la cause principale de nombreuses maladies respiratoires.

Les médias fibreux nontissés sont largement utilisés dans la filtration (Byrne 1998) depuis de nombreuses années. En Europe, en 2005, 88 200 tonnes de nontissés ont été destinées à la filtration, ce chiffre ayant doublé en six ans. Plus d'un tiers de cette production est destiné à la filtration des aérosols (source : Edana). Il existe de nombreuses technologies de nontissés, avec leurs atouts et faiblesses. Ils présentent l'avantage d'être des produits très versatiles, à moindre coût et de fournir diverses fonctionnalités, avec par exemple des finesses de fibres de 0,5 à 500 μm , une épaisseur de média de 20 à 500 μm et un grammage allant de 3 à 2 000 g/m^2 (Gregor 2003). Il convient donc de connaître ces contraintes afin de pouvoir optimiser les structures filtrantes de demain. Dans un premier temps nous ferons un état de l'art de la filtration des aérosols par des filtres à fibres puis nous balayerons les technologies nontissées appliquées à la filtration de l'air pour finir sur nos travaux et résultats.

2. Théorie de la filtration par des médias fibreux

Un aérosol est défini comme une suspension de particules solides ou liquides dans un milieu gazeux présentant une vitesse de chute négligeable (Pénicot 1998) avec une taille inférieure à 100 μm . Il existe une grande variété d'aérosols (bio, minéraux, chimiques...) qui peuvent aller du nanomètre au millimètre. Dans le cadre de nos travaux, la zone granulométrique étudiée se situe entre des diamètres de particules de 0.01 à 10 μm . Communément appelées, micro et ultrafiltration.

A l'état neuf, un filtre sera caractérisé par sa perte de charge (ΔP) la plus faible possible afin de garantir une dépense énergétique minimale et une efficacité de filtration (E) élevée (Frising 2004).

On considère que l'efficacité totale d'un filtre est la somme des efficacités unitaires de collection des fibres. Plusieurs mécanismes physiques vont entrer en jeu afin de capturer les particules, les majoritaires étant (Figure 1) :

La diffusion brownienne : il est significatif pour des particules de tailles inférieures à 0.1 μm . Sous l'agitation brownienne, les particules ne suivent pas les lignes de courant, et peuvent venir au contact des fibres et y adhérer. Les principaux mécanismes d'adhésion seront les forces de Van Der Waals et les effets électrostatiques.

L'interception : il concerne les particules qui ont une taille supérieure à 0.1 μm . Une particule de diamètre dp suivant une ligne de courant est interceptée par une fibre lorsqu'elle s'approche de celle-ci à une distance inférieure à son rayon.

L'impaction : ce type de capture ne concerne que les particules de diamètre supérieur à 1 μm . En raison de son inertie, la particule quitte sa ligne de courant pour

venir s'impacter contre la fibre. Diverses corrélations entre l'efficacité totale théorique tenant compte des trois mécanismes et l'efficacité expérimentale ont été proposées par de nombreux auteurs (Davies 1983, Lee et al., 1982). Aucune de ces corrélations ne donne un bon accord avec l'ensemble des efficacités déterminées expérimentalement. L'explication vient du fait que toutes les caractéristiques structurelles ne sont pas prises en compte. Actuellement, seules les caractéristiques de la structure (comme le diamètre moyen des fibres, l'épaisseur du filtre et sa compacité), de l'aérosol (taille et masse volumique) et des conditions opératoires (vitesse de filtration) sont pris en compte dans les calculs (Payen et al., 2007). Des travaux récents portent sur l'amélioration de ces modèles en intégrant des caractéristiques structurelles telles que la distribution du diamètre des fibres (Frising et al., 2003), l'uniformité du voile du nontissé ou encore les combinaisons de fibres...

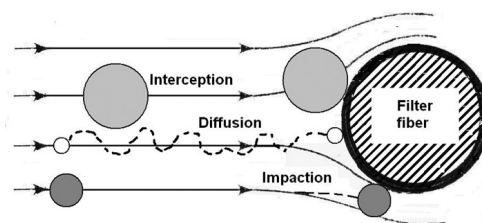


Figure 1 . Illustration des mécanismes de capture des particules par une fibre. (D'après F. Oberta)

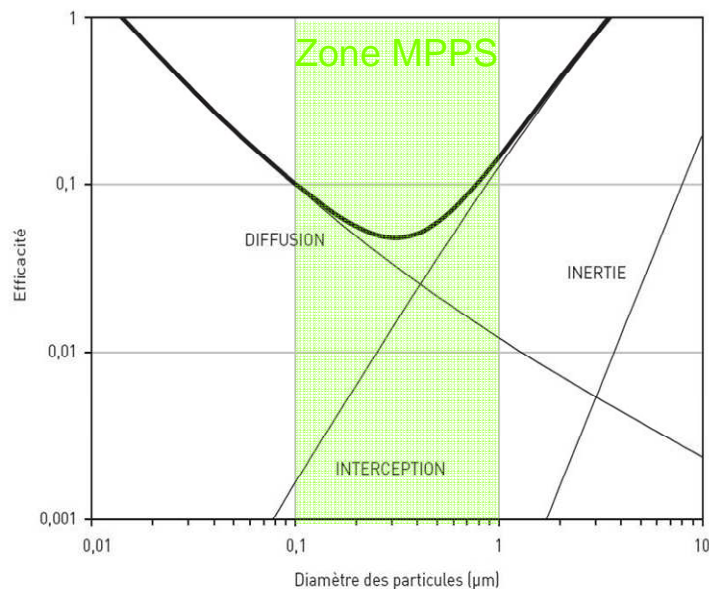


Figure 2 . Efficacité de filtration en fonction de la granulométrie des particules et identification de la zone MPPS. (Source INRS)

La représentation graphique des trois mécanismes de capture en fonction de la granulométrie des particules est représentée sur la Figure 2. Elle montre que pour des tailles de particules comprises entre 0.1 et 1 μm , l'efficacité est minimale. Cette zone correspond à des particules qui sont trop grosses pour être captées par diffusion et trop petites pour faire intervenir les effets d'interception et d'impaction. Cette gamme de particule représente la taille de particule la plus pénétrante, soit en anglais, Most Penetrating Particle Size (MPPS).

C'est dans cette plage de tailles de particules que sont déterminés les deux critères de filtration, à savoir la perte de charge et l'efficacité. On distingue 3 normes, la norme EN149 correspondant aux demi-masques de filtration et les EN779 et EN1822 correspondant aux filtres fins et à très haute efficacité. L'objectif de nos travaux porte sur la réalisation d'un filtre apportant un meilleur compromis entre perte de charge et efficacité dans la zone MPPS par rapport aux produits existants.

3. Nontissés filtrants : Définition et fabrication

3.1. Définition

Le nontissé est un matériau formé à partir de fibres ou de granulés de polymères qui donnent naissance à un voile qui sera consolidé au moyen de différentes techniques par friction inter-fibres (mécanique), cohésion (thermique) ou adhésion (chimique).

3.2. Fabrication de nontissés filtrants

Il existe trois grandes techniques de fabrication de nontissés filtrants. De ces grandes voies dépendent l'application finale du filtre qui dépendra essentiellement de ses performances de filtration.

3.2.1. Procédé par voie humide

Le procédé par voie humide incorpore des fibres de diverses natures (notamment des fibres de verre et de cellulose pour le cas de la filtration) en suspension dans l'eau, qui sont ensuite diluées et essorées. Le principal intérêt du procédé est d'obtenir une surface fibreuse à des vitesses élevées (jusqu'à 1000m/min). Les principales limitations concernent la longueur de fibres et la flexibilité de la machine, plutôt adaptée à de grandes productions.

Ce procédé conduit à des non tissés plutôt isotropes, homogènes et fermés, ce qui explique leur utilisation dans la fabrication de filtres à haute et ultra haute efficacité. On utilise généralement la fibre de verre pour ces filtres car ce sont les fibres les plus fines que l'on puisse obtenir par voie directe (0,2 à 1 μm) (Lydall 2005). De plus on associe généralement la cellulose et les fibres de verre afin d'obtenir un média beaucoup plus compact.

3.2.2. *Procédé par voie sèche*

La voie sèche regroupe généralement tout ce qui est cardé/nappé. Issu de la voie textile, on retrouve les mêmes machines de base que pour des applications filature qui ont évoluées pour le nontissé. Les cartes nettoient, individualisent et parallélisent les fibres qui sont orientées de façon préférentielle selon le sens machine.

Dans le cas de la filtration, le voile est généralement nappé (superposition de voiles) puis consolidé par aiguilletage. Une consolidation thermique complémentaire est souvent réalisée pour bloquer la structure. On obtient dans ce cas un produit plutôt épais destiné à des filtres grossiers. Pour des médias plus fins, on peut directement calandrer le voile. En effet, ces médias ne possèdent pas de bonnes propriétés de filtration notamment en terme d'efficacité mais sont bon marché et possèdent une excellente capacité de rétention des poussières. Leur faible efficacité de filtration est due au diamètre moyen de fibres qui est de l'ordre de 10 à 500 μm . Ce procédé permet non seulement l'utilisation d'une large gamme de fibres, naturelles ou chimiques, mais aussi de réaliser facilement des mélanges de fibres.

3.2.3. *Procédés par voie fondue*

Les procédés voie fondue partent du polymère sous forme de granulé qui sera fondu-extrudé puis filé afin de former directement une nappe de filaments. Dans le cas où la phase de formation consiste après filage à refroidir, étirer et déposer des filaments sur un tapis en mouvement, on parlera de « spunbond ». Dans le cas où le polymère est soufflé par air chaud avant même de le refroidir, on parlera alors de « meltblown ». On utilise exclusivement des fibres thermoplastiques comme le polypropylène et le polyester. Cette technique est souvent associée à une consolidation thermique par calandrage.

Les poids de voiles peuvent aller de 3 à 1000 g/m^2 pour une laize pouvant aller jusqu'à 5m. La structure obtenue est quasi isotrope. Des vitesses jusqu'à 800 m/min sont envisageables en voile léger. La finesse des fibres obtenues est couramment comprise entre 0,6 à 10 μm pour le meltblown et entre 1 et 50 μm pour le spunbond. Il est possible de réaliser une co-extrusion de polymères afin d'obtenir des filaments bicomposants qui permettent notamment de descendre à des finesses submicroniques. Cette technologie est utilisée par exemple dans la fabrication des demi-masques filtrants de type FFP2.

3.2.4. Etape de consolidation

L'étape de consolidation permet de lier les fibres ou filaments contenus dans le voile par des méthodes mécaniques, chimiques ou thermiques. On retiendra notamment l'aiguilletage qui oriente les fibres perpendiculairement au plan de la nappe et qui permet de conserver une bonne porosité du matériau. Le liage par jet d'eau reproduit le rôle des aiguilles mais en densifiant davantage le matériau. Des liants chimiques appliqués par imprégnation, pulvérisation ou impression sur le voile puis réticulé permettent une adhésion des fibres entre elles. Le thermoliage consiste à faire fondre une partie des fibres ou un liant thermique à bas point de fusion afin de bloquer plus ou moins la structure. Un thermoliage par four permet de garder l'épaisseur du produit alors que le calandrage permet, grâce à la compression des rouleaux sur le nontissé, de diminuer la taille des pores de la structure en surface pour une très faible épaisseur du produit. Chacune de ces méthodes fait appel à des technologies variées et apportent des propriétés souvent complémentaires. Elles sont donc parfois combinées suivant les choix de structure de produit souhaités.

4. Travaux en cours

Notre objectif est d'étudier l'influence des caractéristiques structurelles du nontissé sur les propriétés de filtration afin d'obtenir des critères de choix en vue d'obtenir un filtre alliant efficacité et faibles dépenses énergétiques. Plusieurs investigations sont menées sur les fibres, à savoir l'influence du diamètre, de la forme de la section et sur la combinaison de ces fibres afin d'observer des effets de synergie. Les nontissés sont réalisés au CENT (Centre Européen des Non-Tissés, Tourcoing) en utilisant le procédé par voie sèche. Ce procédé est très versatile et nous permet d'utiliser quasiment tout type de fibres et de pouvoir les combiner. Ces différentes investigations sont montrées dans la Figure 3.

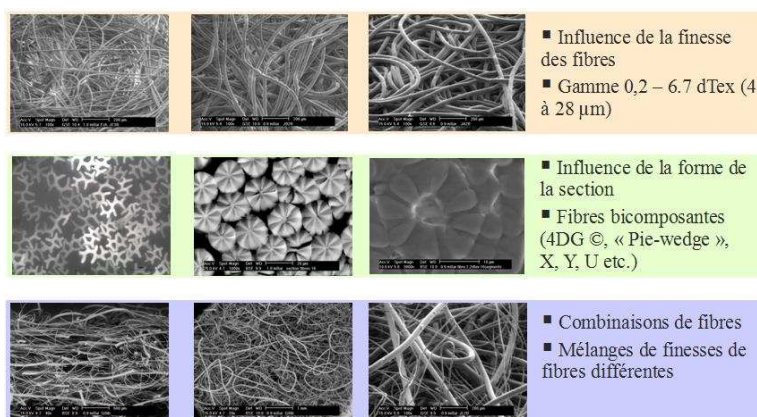


Figure 3 . Investigations menées sur les relations fibres/propriétés de filtration

Les propriétés de filtration sont évaluées selon la norme EN149 pour l'efficacité de filtration et selon la norme ISO 9237 pour la perméabilité à l'air (paramètre inversement proportionnelle à la perte de charge).

Les premiers résultats ont montré, conformément à la littérature, que l'efficacité varie inversement à la perméabilité à l'air (Bémer et al., 2002) et que plus le diamètre des fibres diminue, plus l'efficacité de filtration augmente, au détriment de la respirabilité. L'utilisation de combinaison de fibres apporte un meilleur ratio efficacité/perméabilité symbolisé par le dégagelement de ces points de la tendance observée sur la Figure 4. De même, l'utilisation de fibres à forme de section particulière permet de sortir de la tendance.

Ces premières études montrent que l'on doit atteindre un diamètre de fibres inférieur à 5 μm si l'on souhaite obtenir une structure suffisamment filtrante. Cependant, cela influence très fortement la perméabilité à l'air. Un compromis doit donc être trouvé via la combinaison de fibres afin d'associer les propriétés de chacune et favoriser un effet de synergie.

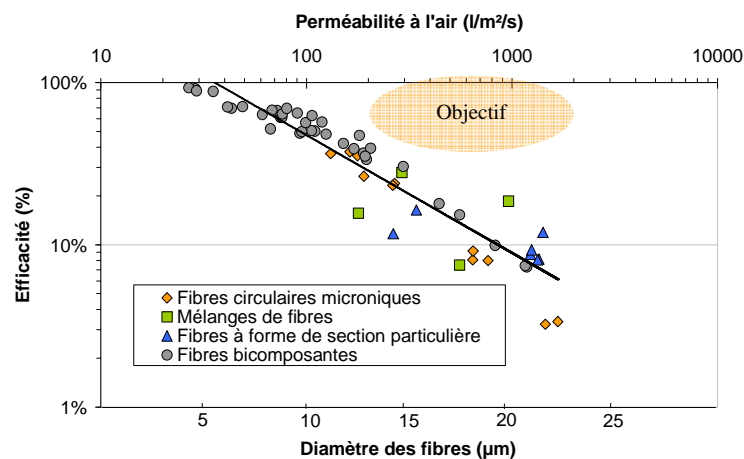


Figure 4 . Efficacité en fonction de la perméabilité à l'air et du diamètre des fibres pour les différentes investigations menées

5. Conclusion

Cette communication écrite présente un état de l'art des mécanismes de filtration des aérosols par des filtres à fibres et montre qu'il s'agit de phénomènes complexes, faisant interagir les propriétés physico-chimiques des aérosols et les caractéristiques structurales du filtre. Cet article présente un panel de technologies nantissées utilisées dans la fabrication des filtres qui permettent de couvrir l'essentiel de la normalisation appliquée aux filtres dans une zone où les particules se révèlent les plus pénétrantes.

Les premières études menées sur les relations propriétés/structures des fibres ont montré une grande influence du diamètre des fibres sur la filtration, et ont révélé l'existence d'une synergie lors de la combinaison de fibres permettant d'exploiter les avantages de chacune. Les résultats ont aussi montré que l'utilisation de fibres à forme de section particulière permettait de sortir de la tendance et d'améliorer le ratio efficacité/perméabilité à l'air.

Les prochaines investigations concerneront l'élaboration de nontissés avec des fibres à l'échelle (super)micronique et nanométrique (entre 100nm et 4 µm) et l'association de structures afin de combiner les propriétés. Le développement de modèles plus en adéquation avec les résultats expérimentaux fait aussi parti du champ d'investigation.

Bibliographie

Bémer D., Callé S., Vaxelaire S., Thomas D., Contal P., *Performances des medias filtrants utilisés en dépoussiérage industriel*, INRS – Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail, No. 188, 3ème trimestre 2002.

Bémer D., Régnier R., Callé S., Thomas D., Simon X., Appert-Collin J.C., *Filtration des aérosols – performances des médias filtrants*, INRS – Hygiène et sécurité du travail - Cahiers de notes documentaires, No. 202, 1er trimestre 2006.

Byrne C., *An Overview of World Markets for Textile Filtration Media*, Filtration & Separation, December 1998, p. 916-918.

Davies C.N., *Filtration of aerosols*, Journal of Aerosol Science, Vol. 14, No. 2, 1983, pp. 147-161.

Frising T., Thomas D., Contal P., Bémer D., Leclerc D., *Influence of filter fibre size distribution on filter efficiency calculations*, Institution of Chemical Engineers, Vol. 81, October 2003, Part A.

Frising T., *Etude de la filtration des aérosols liquides et de mélanges d'aérosols liquides et solides*, Thèse présentée à l'INPI, Nancy, 2004.

Gregor E.C., *Primer on Nonwoven Fabric Filtration Media*, Edward C. Gregor & Associates, LLC, Charlotte, 2003.

Lee K.W., Liu B.Y.H., Theoretical study of aerosol filtration by fibrous filters, Aerosol Science and Technology, Vol. 1, 1982, pp. 147-161.

Lydall Filtration and Separation., *Submicron Filtration Media*, INJ Fall 2005, Rochester, NH.

Payen J., Vroman P., Lewandowski M., Perwuelz A., *Médias fibreux nontissés pour la filtration des aérosols*, Actes des 1ères Journées de la Filtration des Aérosols, 7-8 juin 2007, Nancy, France, C1, pp. 1-8.

Pénicot P., *Etude de la performance de filtres à fibres lors de la filtration d'aérosols liquides ou solides submicroniques*, Thèse présentée à l'INPI, Nancy, 1998.

Thomas D., *Filtration des aérosols, de la fibre au filtre*, 19ème congrès français sur les aérosols, 10-11 décembre 2003, Paris, p. 100-110.